

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки

(повна назва інституту/факультету)

Акустики та акустoeлектроніки

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Дідковський В.С.

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” 20__ р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності (спеціалізації) 6.050803 Акустотехніка
(код та назва спеціальності)

на тему: Прилад для вимірювання вертикального розподілу швидкості
звуку у воді

Виконав: студент 4 курсу, групи ДГ-51
(шифр групи)

Пустільник Олексій Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник ас.,ас. Старовойт Я.І.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет _____ електроніки _____
(повна назва)

Кафедра _____ акустики та акустoeлектроніки _____
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність (спеціалізація) _____ 6.050803 Акустотехніка _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Дідковський В.С. _____
(підпис) (ініціали, прізвище)

«___» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
на дипломний проект (роботу) студенту**

_____ Пустільник Олексій Іванович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Прилад для вимірювання вертикального розподілу швидкості звуку у воді.

керівник проекту (роботи) _____ Старовойт ас.,ас. _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____ червня _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) діапазон звуку 1400-1550м/с, робочих глибин 0-300м.

4. Зміст (дипломної роботи) пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) _____

1. Аналіз науково-технічної літератури. _____)

2. Розробка приладу для вимірювання вертикального розподілу швидкості звуку у воді. _____

3. Висновок _____

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) _____ презентація _____

6. Консультанти розділів проекту (роботи)*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____ 5 вересня 2018 р

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Збір матеріалів для роботи. Аналіз науково-технічної літератури.	05.09.18-15.10.18	
2	Теоретичний розрахунок та обрання оптимальних технічних характеристик приладу для вимірювання вертикального розподілу швидкості звуку у воді.	16.10.18 - 20.11.18	
3	Ескізне конструювання пристрою.	21.11.18 - 23.05.19	
4	Оформлення пояснювальної записки та презентації.	24.05.19 - 01.06.19	

Студент

(підпис)

О.І. Пустільник
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Я.І. Старовойт

*Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту (роботи)

РЕФЕРАТ

Прилад для вимірювання вертикального розподілу швидкості звуку у воді // Дипломна робота на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр». Пустільник О.І. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», факультет електроніки, кафедра акустики та акустoeлектроніки, група ДГ-51. – К.:НТУУ «КПІ», 2019 с. – 71, рис. – 60, табл. – 14.

Розглянуто роботу приладу для визначення вертикального розподілу швидкості звуку. Проаналізовано вибір методу роботи приладу. Описано принцип функціонування за схемою, параметри основних компонентів приладу та міркування якими слід керуватись при їх виборі. Приведені метрологічні характеристики роботи приладу.

Ключові слова: вертикальний розподіл швидкості звуку, електроакустичне кільце, гідроакустичний перетворювач, акустична база.

ABSTRACT

A device for measuring the vertical distribution of sound speed in water // Graduate work for obtaining the degree of higher education "Bachelor". Pustilnyk O.I. National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute. Igor Sikorsky, Faculty of Electronics, Department of Acoustics and Acoustoelectronics, group

DG-51. - K.: NTUU "KPI", 2019 p. - 71, fig. - 60, tab. – 14

The work of the device for determining the vertical distribution of the speed of sound is considered. The choice of method of operation of the device is analyzed. The principle of functioning according to the scheme is described, parameters of the main components of the device and considerations which should be guided by their choice. The metrological characteristics of the device are given.

Key words: vertical distribution of sound speed, electroacoustic ring, hydroacoustic converter, acoustic base.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВІ СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП	8
1. ПРИЗНАЧЕННЯ ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ.....	9
2. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ЗВУКУ	11
2.1 Непрямі методи вимірювання звуку.....	12
2.2 Прямі методи вимірювання швидкості звуку.....	13
2.2.1 Фазовий метод.....	13
2.2.2 Імпульсний метод.....	15
3. ПРИНЦИП РОБОТИ ПРИЛАДУ	17
3.1 Розрахунок параметрів структурної схеми.....	18
3.2 Описання роботи функціональної схеми.....	22
3.3 Часові діаграми.....	25
4. МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ГЛИБИНИ.....	26
4.1 Метод визначення глибини за часом занурення.	26
4.2 Визначення глибини за допомогою датчиків тиску.	27
5. БЛОК АКУСТИЧНОЇ БАЗИ ПРИЛАДУ	28
5.1 Склад і принцип роботи блоку.....	28
5.2 Гідроакустичні перетворювачі.	29
5.3 Вибір відстані між ГАП і рефлектором.....	31
5.4 Вибір діаметра рефлектора акустичної бази.....	34
6. МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОТИ ПРИЛАДУ	36
6.1 Вплив на точність роботи додаткової часової затримки.....	36
6.2 Вплив температурної нестабільності акустичної бази на точність вимірювань.....	40
6.3 Оцінка похибки вимірювань, викликана потоком, що набігає....	41
6.4 Похибка визначення глибини.....	42
ВИСНОВКИ.....	41
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	42

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВІ СКОРОЧЕНЬ

ВРШЗ – вертикальний розподіл швидкості звуку;

ГАП – гідроакустичний перетворювач;

ЕАК – електроакустичне кільце.

ВСТУП

На сьогодні при різноманітних акустичних дослідженнях і океанографічних вимірюваннях існує задача побудови профілю швидкості звуку в водному середовищі в залежності від тиску. Насамперед ця задача постає при дослідженні поширення сигналів в морському середовищі.

Швидкість звуку є океанографічною характеристикою середовища, яка визначає багато особливостей поширення сигналів в морі. Вона залежить від глибини моря, пори року, географічного району і часу доби[1]. Причому найбільше вона залежить від температури. Наприклад, при зміні температури на 1°C швидкість звуку змінюється на 4,4 м/с, із збільшенням солоності на 1% - на 1,2 м/с. Внаслідок цього швидкість звуку може приймати значення приблизно в межах від 1400 до 1550 м/сек.

При дослідженнях поширення звуку в морі вивчають такі питання, як вплив на поширення звуку на поверхні води і дні моря температурних та інших неоднорідностей середовища, поглинання звуку водою та дном, ревербераційні явища, шуми моря і т.д[3]. Комплексне рішення цих питань дозволяє прогнозувати дальність дії гідроакустичних станцій в різноманітних умовах, а також проводити теоретичне обґрунтування при проектуванні нових зразків гідроакустичної техніки.

РОЗДІЛ 1. ПРИЗНАЧЕННЯ І ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ

Вимірювач залежності швидкості звуку від тиску в водному середовищі використовується для побудови профілів та променевих картин, що показують, як звук в морському середовищі при розміщенні випромінювача на певну глибину.

Зазвичай для вимірювання швидкості звуку від глибини використовують два види приладів, які використовують різні методи. Один з них, що називається батітермографом, вимірює швидкість, як функцію температури води на різних глибинах[1].

Інший вид приладів визначає швидкість за інтервалами часу, які необхідні звуку для проходження фіксованої відстані. Він вимірює час поширення імпульсів від випромінювача до приймача. Такий прилад працює за імпульсно-циклічним принципом, у відповідності з яким в момент приходу чергового імпульсу на приймач останній дає команду на випромінювання наступного імпульсу.

Оскільки практично весь час затримки між моментами приходу двох сусідніх імпульсів являють собою акустичну затримку в воді між випромінювачем та приймачем, частота прямування імпульсів визначається швидкістю поширення звуку в воді між ними. Вимірювання швидкості звуку з глибиною називається вертикальним розподілом швидкості звуку (ВРШЗ) або профілем швидкості звуку. Типовий графік вертикального розподілу швидкості звуку для глибокого моря зображено на рисунку 1.1.

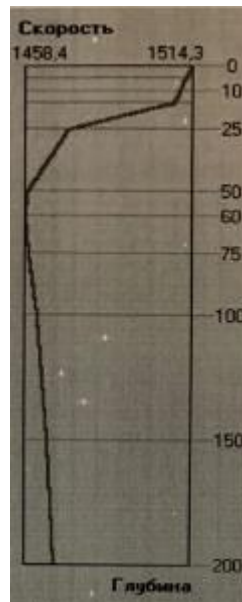


Рис 1.1

Вид вертикального розподілу швидкості звуку, залежить від характеру прогріву водної маси, солоності і течій. ВРШЗ в мілкому морі ускладнюється, оскільки за рахунок змін солоності, що викликані наявністю близько розташованих джерел прісної води, а також внаслідок численних градієнтних шарів з малою просторовою і часовою стабільністю.

Гідроакустика забезпечує спостереження різноманітних підводних об'єктів шляхом використання відбитих або акустичних хвиль. Оскільки швидкістю звуку зменшується з глибиною, то відбувається викривлення акустичних променів в бік дна, тобто виникає від'ємна рефракція.

Від'ємна рефракція обмежує дію гідроакустичних станцій. Тому при роботі гідроакустичних станцій необхідно визначити геометричну дальність дії гідролокатора[5].

Використовуючи основи променевої теорії можна провести розрахунок акустичного поля в середовищі з будь-яким розподілом швидкості звуку.

Знаючи вертикальний розподіл швидкості звуку, можна побудувати траєкторію променя. Задаючи різні значення кута джерела звуку за формулами променевої теорії розраховують траєкторію акустичних

променів[6]. Результати розрахунків можна представити у вигляді графіка, рисунок 1.2.

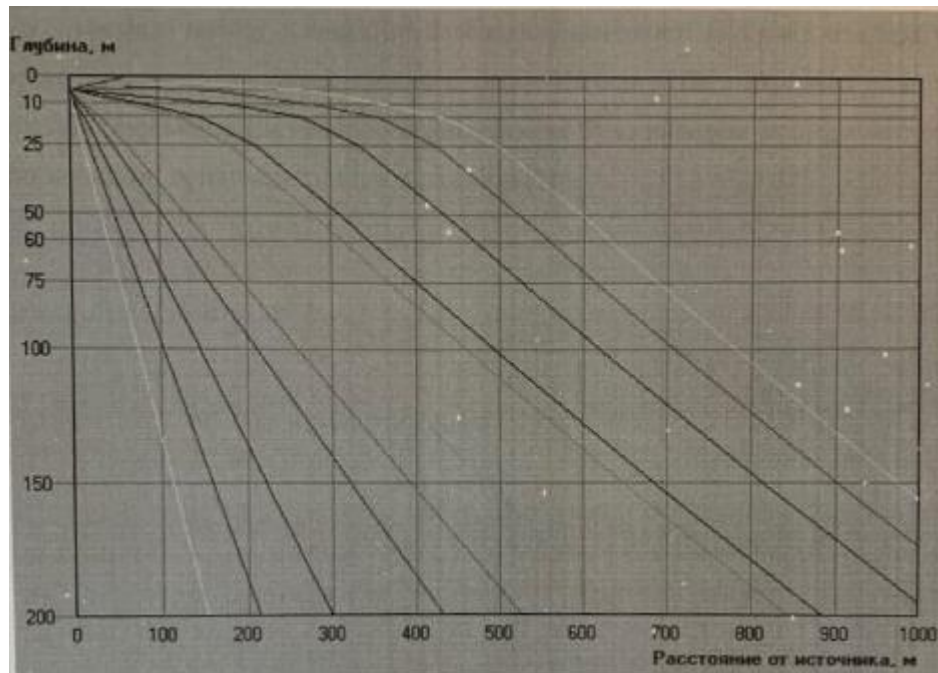


Рис 1.2

Список задач, які розв'язують за допомогою гідроакустичних вимірювань, є досить широким. Їх умовно можна розділити на три великі групи:

- дослідження поширення звуку в морі;
- дослідження гідроакустичної апаратури та її окремих елементів;
- градування гідроакустичної вимірювальної техніки.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ЗВУКУ

Методи вимірювання швидкості звуку в воді можна розділити на прямі і непрямі.

Непрямі методи ґрунтуються на залежності швидкості звуку від температури води, її солоності та гідростатичного тиску. На основі багатократних вимірів в зразках морської води і безпосередньо в морі були виведені експериментальні формули, які встановлюють цю залежність[1].

2.1 Непрямі методи вимірювання звуку

Визначення швидкості звуку при використанні непрямих методів проводиться шляхом вимірювання температури води, її солоності та статичного тиску з подальшим розрахунком швидкості звуку за однією з відомих формул. В морських умовах вимірювання температури проводиться за допомогою термометрів, які опускають на певні глибини. З цих же глибин беруться проби води, за якими потім визначають її солоність. Для вимірювання тиску використовують термобатіграфи.

Процедура отримання даних з великих глибин займає кілька годин. Ще більше часу потребує обробка даних, не дивлячись на наявність спеціальних таблиць і номограм, які прискорюють процес розрахунку. Окрім великої затрати часу подібні методи мають інші вагомні недоліки, до яких, перш за все, варто віднести дискретність отриманих даних за глибиною і недостатню точність вимірювань. Частково ці недоліки можуть бути усунені за допомогою приладу, який автоматизує процес отримання даних та їх обробки. Такий прилад, що опускається в воду, складається з герметичного блоку з встановленими в ньому електричними датчиками температури, солоності і тиску. Дані передаються по багатожильному кабелю в лічильнорозв'язувач, що знаходиться на борту судна. Після обробки отриманих даних лічильнорозв'язувач видає значення швидкості звуку.

До недоліків таких приладів відноситься складність лічильнорозв'язувача, значна інерційність роботи і низька надійність датчиків та кабелю. Окрім того, необхідність використання багатожильного кабелю обмежує граничну глибину, на якій можливо використовувати прилад.

2.2 Прямі методи вимірювання швидкості звуку

Прямі методи вимірювання основані на використанні точних аналітичних залежностей фазових і часових зсувів звукових хвиль від швидкості звуку на фіксованій відстані. На сьогодні відомі наступні прямі методи вимірювання швидкості звуку в воді: оптичний, частотний, фазовий, імпульсний [1].

2.2.1 Фазовий метод.

Найпоширеніший фазовий метод, що має два різновиди: з використанням стоячих хвиль та з використанням біжучої хвилі.

Перший різновид оснований на визначенні довжини хвилі акустичних коливань. Вимірювання проводяться інтерферометром. Метод дозволяє визначити швидкість звуку з високою точністю, що досягає тисячних доль відсотка. Його застосування обмежено лабораторними умовами, в зв'язку з досить складною методикою вимірювань.

Фазовий метод з використанням біжучої хвилі отримав широке застосування при практичних вимірюваннях швидкості звуку в морі. Метод заснований на вимірюванні зсуву фази акустичних коливань на деякій фіксованій ділянці (рис 2.1).

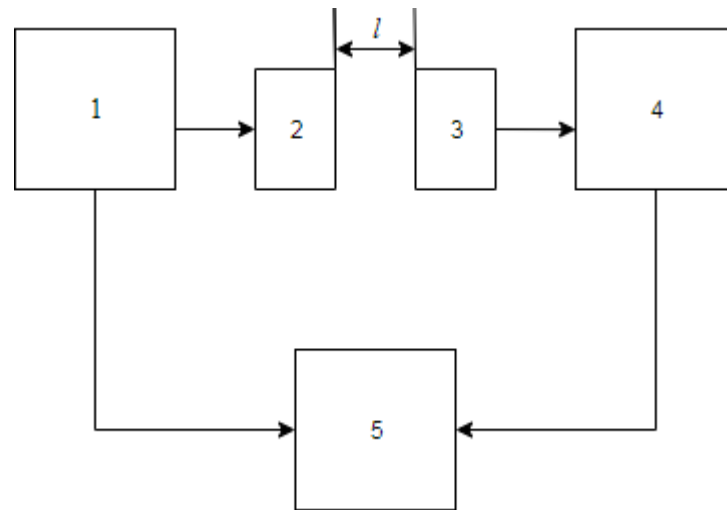


Рис 2.1

- 1- генератор синусоїдальних коливань;
- 2- випромінювач;
- 3 – приймач;
- 4 -підсилювач;
- 5- фазометр.

Похибки за рахунок неточного вимірювання бази l (відстань між перетворювачами) усуваються при калібруванні приладу, суть якого в порівнянні його показань з показаннями еталонного приладу, що має більш високу точність. Похибки, що виникають внаслідок теплового розширення бази, можуть бути зменшені виготовленням конструкції із матеріалу, що має малий коефіцієнт теплового розширення.

Похибки, викликані нестабільністю генератора, при використанні кварцової стабілізації нехтовно малі. Точність вимірювання фази в сучасних приладах вимірювання швидкості звука складає приблизно 2° . Відносна похибка вимірювання фазового зсуву може бути зменшена шляхом збільшення абсолютної величини різниці фаз коливань між перетворювачами. При незмінній відстані l це можна втілити, збільшуючи частоту генератора. Однак при збільшенні частоти може виникнути

багатозначність показань приладу, тобто різним значенням швидкості звуку буде відповідати одне й тежположення стрілки індикатора.

Для усунення цієї багатозначності доводиться жертвувати точністю або вводити кілька піддіапазонів, що приводить до ускладнення апаратури та збільшення її вартості і масогабаритних характеристик.

Для забезпечення вимірювання швидкості звуку з підвищеною точністю необхідно попередньо визначити піддіапазон за грубою шкалою приладу.

Вагомими недоліками методу є нелінійний характер залежності, що визначається виразом:

$$c = 2\pi \frac{lf}{\varphi}$$

До недоліків варто також віднести значну складність електронної схеми і необхідність підтримання високої стабільності частоти генератора. Фазовий метод використовується в основному для вимірювання швидкості звуку при малих змінах її в діапазоні опорного значення $(C_0 \pm 25 \text{ м/с})$.

2.2.2 Імпульсний метод

Імпульсний метод заключається у вимірюванні часу проходження звуковим імпульсом відомої фіксованої відстані. Цей метод має два різновиди:

1. Вимірюється безпосередньо час t проходження імпульсу від випромінювача до приймача. Швидкість звуку знаходить як:

$$c = \frac{l}{t}$$

Як бачимо, нелінійна залежність швидкості звуку від величини, яку вимірюємо, зберігається. Частота повторення імпульсів стала і вибирається виходячи із зручностей індикації.

2. На відміну від попереднього випадку частота слідування імпульсів в іншому різновиді методу не стала, а залежить від швидкості звуку в воді. Цей метод називається імпульсно-циклічним і є дуже поширеним. Схема приладу, оснований на використанні цього методу, зображена на рисунку:

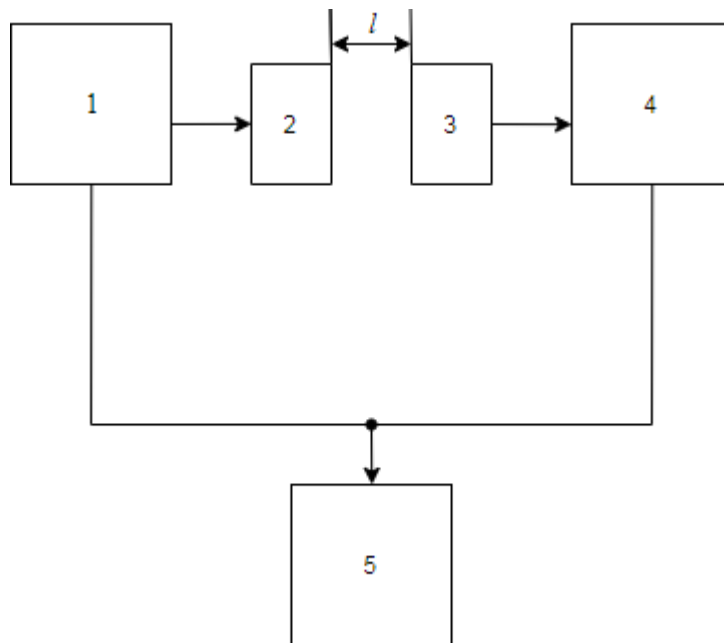


Рис 2.2

- 1- імпульсний генератор очікування;
- 2 - випромінювач;
- 3- приймач;
- 4-підсилювач;
- 5- вимірювач швидкості рахунку.

Імпульсний генератор поставлено в такий режим, що його робота синхронізується зовнішніми імпульсами, які поступають від спускової системи. Спускова схема спрацьовує від імпульсів, що надходять через

підсилювач приймального перетворювача. Таким чином, вихідний імпульс генератора надходить на випромінювач, проходить водний проміжок, приймається приймачем і спричиняє роботу спускової схеми, після чого цикл повторюється. Тривалість кожного циклу в першу чергу визначається часом проходження через водний проміжок t і швидкістю звуку.

Швидкість звуку визначається за формулою:

$$c = l \cdot F_u$$

В даному випадку швидкість звуку знаходиться в прямій залежності від безпосередньо вимірюваної частоти повторення імпульсів, що дозволяє створити рівномірну шкалу індикатора.

Зазвичай, імпульсно-циклічні датчики мають малі габарити, високу точність (яка не поступається фазовим вимірювачам) та надійність, а також є досить дешевими.

РОЗДІЛ 3. ПРИНЦИП РОБОТИ ПРИЛАДУ

Прилад, що розглядається (структурна схема його зображена на рис.2.3) використовує імпульсний метод вимірювання швидкості звуку. Цей метод забезпечує більш високу точність і менш складний у використанні і реалізації.

Датчик вимірювання швидкості створює на виході напругу пропорційну швидкості на глибині. В якості датчика швидкості звуку використовується акустична система, яка складається з п'єзовипромінювача, відбиваючого дзеркала і приладу генерації імпульсних сигналів випромінювання, вихід якого перетворюється в частоту і за допомогою суматора додається до сигналу з іншого датчика-вимірювача глибини. Сигнал на виході суматора, що являє собою суміш двох частот, передається

кабель-тросом довжиною ~ 300 м. Цим же кабелем передається напруга живлення датчиків від блоку прийомі і перетворення інформації. В блоці відбувається виділення відповідних частот, і розділення в канал частоти швидкості і канал частоти датчика глибини. Сигнал на виході представляє собою сигнал швидкості звуку з частотою слідування 7-7.5 кГц і сигнал датчика глибини 4-6 кГц. При цьому діапазон вимірювання швидкості звуку 1400-1550 м/с, глибини- 0-300 м. Вихідні сигнали від блоку прийому надходять на блок індикації і побудови графіків.

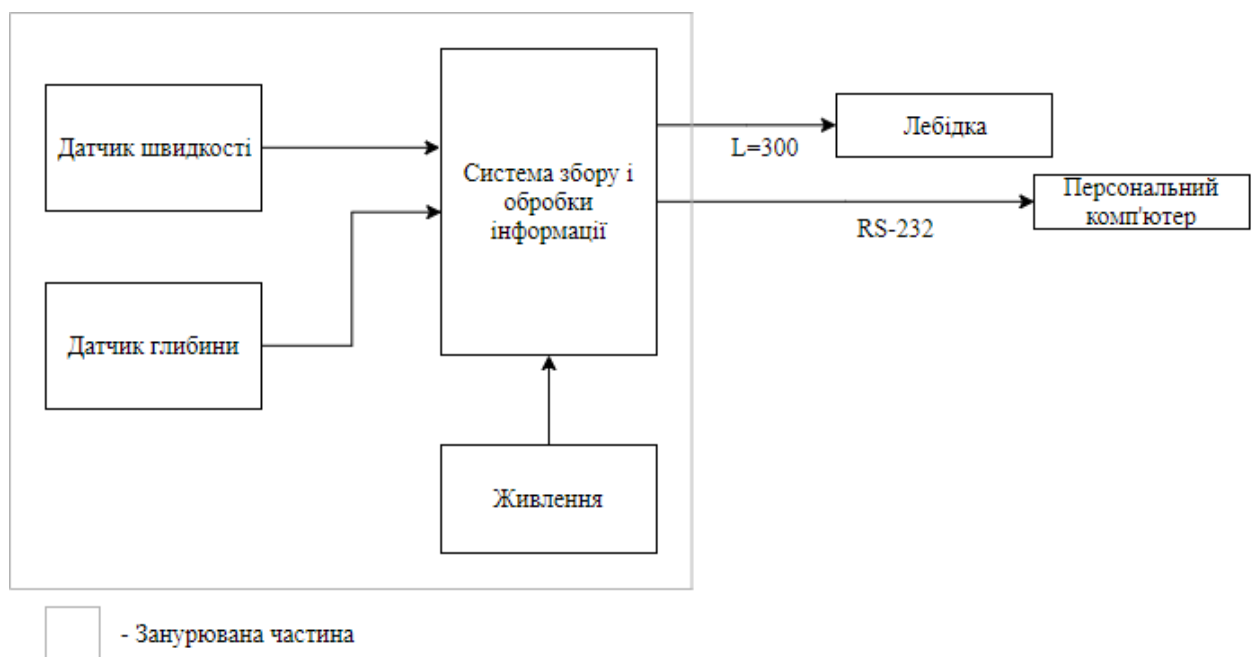


Рис 3.1

3.1 Розрахунок параметрів структурної схеми

Перший метод розрахунку оснований на вимірюванні безпосередньо часу t проходження імпульсу від випромінювача до приймача, в другому на відміну від попереднього випадку частота слідування імпульсів не постійна, а залежить від швидкості звуку в воді.

Розрахунок методу №1

Вимірювання інтервалу часу, сформованого з постійного числа періодів невідомої частоти каналу вимірювача швидкості.

Визначимо частоту прямування імпульсів генератора вимірювача швидкості для вимірювальної бази $L = 50 \text{ мм}$.

1. Оскільки шлях, що проходить сигнал пролягає від випромінювача до дзеркала і назад, то його значення визначається як:

$$S = 2L = 2 \cdot 50 = 100 \text{ мм} = 10 \text{ см};$$

2. Визначимо частоту прямування імпульсів генератора при швидкості звуку $V_3 = 1400 \text{ м/с}$:

$$f_1 = \frac{V_3}{S} = \frac{140000 \text{ см/с}}{10 \text{ см}} = 14000 \text{ 1/с} = 14000 \text{ Гц} = 14 \text{ кГц};$$

3. Визначимо частоту прямування імпульсів генератора при швидкості звуку $V_3 = 1550 \text{ м/с}$:

$$f_1 = \frac{V_3}{S} = \frac{155000 \text{ см/с}}{10 \text{ см}} = 15500 \text{ 1/с} = 15500 \text{ Гц} = 15,5 \text{ кГц};$$

4. Приймаємо число імпульсів необхідних для формування вимірювального інтервалу $N = 2000$ імпульсів.

4.1 Визначимо тривалість вимірювального інтервалу при швидкості звуку $V_3 = 1400 \text{ м/с}$:

$$T_{\text{вим1}} = T_{z1} \cdot N = \frac{1}{14 \cdot 10^3} \cdot 2000 = 0,14285 \text{ с} = 142,85 \text{ мс} = 142850 \text{ мкс},$$

$$\text{де } T_{z1} = \frac{1}{f_1} = \frac{1}{14 \text{ кГц}};$$

4.2 Визначимо тривалість вимірювального інтервалу при швидкості звуку $V_3 = 1550 \text{ м/с}$:

$$T_{\text{вим}2} = T_{32} \cdot N = \frac{2000}{15,5 \cdot 10^3} = 0,1290 \text{ с} = 129,0 \text{ мс} = 129000 \text{ мкс},$$

$$\text{де } T_{32} = \frac{1}{f_2} = \frac{1}{15,5 \text{ кГц}};$$

5. Визначимо число імпульсів заповнення з періодом прямування імпульсів $T_{\text{зан}} = 1 \text{ мкс}$ для вимірювального інтервалу $T_{\text{вим}1} = 142850 \text{ мкс}$:

$$N_1 = \frac{T_{\text{вим}1}}{T_{\text{зан}}} = \frac{142850 \text{ мкс}}{1 \text{ мкс}} = 142850;$$

6. Визначимо число імпульсів заповнення з періодом слідування імпульсів $T_{\text{зан}} = 1 \text{ мкс}$ для вимірювального інтервалу $T_{\text{вим}2} = 129000 \text{ мкс}$:

$$N_2 = \frac{T_{\text{вим}2}}{T_{\text{зан}}} = \frac{129000 \text{ мкс}}{1 \text{ мкс}} = 129000;$$

7. Оскільки якості вимірювача числа імпульсів використовується 16 розрядний лічильник, то число імпульсів отримане в пунктах 5 і 6 перевищує допустиму ємність лічильника, яка рівна 65535.

8. В зв'язку з цим необхідно дещо уточнити параметри в пунктах 5 і 6 з періодом $T_{\text{зан}} = 10 \text{ мкс}$.

8.1 Візьмемо період заповнення $T_{\text{зан}} = 10 \text{ мкс}$ і число імпульсів $N = 2000$:

$$N_1 = \frac{T_{\text{вим}1}}{T_{\text{зан}}} = \frac{142850 \text{ мкс}}{10 \text{ мкс}} = 14285;$$

$$N_2 = \frac{T_{вим2}}{T_{зан}} = \frac{129000 мкс}{10 мкс} = 12900;$$

9. Таким чином при кількості імпульсів заповнення $N = 2000$, періодом заповнення $T_{зан} = 10 мкс$ і швидкості звуку в діапазоні $1400 - 1550 м/с$ маємо значення часових інтервалів в діапазоні $12900 - 14285 мкс$ або $0,129 - 0,14285 с$.

Розрахунок методу №2

Частота повторення імпульсів стала і обирається з умов зручності індикації.

Визначимо частоту повторення відліків для вимірювальної бази $L = 50 мм$.

1. Визначимо значення шляху, який проходить сигнал:

$$S = 2L = 2 \cdot 50 = 100 мм = 10 см;$$

2. Визначимо частоту повторення відліків при швидкості звуку $V_3 = 1400 м/с$:

$$f_1 = \frac{V_3}{S} = \frac{140000 см/с}{10 см} = 14000 Гц = 14 кГц;$$

3. Визначимо частоту повторення відліків при швидкості звуку $V_3 = 1550 м/с$:

$$f_1 = \frac{V_3}{S} = \frac{155000 см/с}{10 см} = 15500 Гц = 15,5 кГц$$

4. Визначимо кількість відліків при вимірювальному інтервалі $T_{вим} = 0,2 с$:

$$N_1 = \frac{T_{вим}}{1/f_3} = 0,2 \cdot 14000 = 2800$$

5. Визначимо кількість відліків при швидкості звуку $V_3 = 1550 м/с$:

$$N_1 = \frac{T_{вим}}{1/f_3} = 0,2 \cdot 15500 = 3100$$

Точність вимірювання складає $0,5м/с$, оскільки вага одного відліку $0,5м/с$.

Для забезпечення достатньої точності вимірювань оберемо перший метод розрахунку - вимірювання часового інтервалу сформованого з постійного числа періодів невідомої частоти .

3.2 Описання роботи функціональної схеми

Функціональна схема вимірювача залежності швидкості звуку від глибини зображена на рис. 3.2.

В якості датчика швидкості звуку використовується акустична система, яка складається з п'єзовипромінювача, відбиваючого дзеркала і приладу генерації імпульсних сигналів випромінювання, сигнал на виході якого перетворюється в частоту. Далі сигнал надходить на блок програмованих лічильників СТ1-0.

Блок програмованих лічильників представляє собою три 16-розрядних незалежних лічильники, але режими керування задаються однією адресою. Для підвищення точності лічильник СТ1-0 використовують в режимі очікуючого мултивібратора, в якому він підраховує певну кількість імпульсів. Кожний запуск ініціюється кожні 1,28 секунди, лічильником СТ1-2.

На виході СТ1-0 формується часовий інтервал, який пропорційний опорному числу імпульсів. Далі відкривається лічильник СТ1-1. По виходу С йде тактова частота $(F_{\text{заповнення}})$, і сигнал перетворюється в код, який пропорційний швидкості звуку. Частота заповнення надходить з виходу ALE мікроконтролера.

На виході датчика тиску, типу ДТ-60, отримуємо напругу пропорційну глибині, перетворюємо її в частоту і передаємо на вихід С блоку програмованих лічильників СТ2-0.

На виході СТ2-0 формується часовий інтервал пропорційний опорному числу імпульсів. Потім відкривається лічильник СТ2-1. По входу С надходить тактова частота ($F_{\text{заповнення}}$) і сигнал перетворюється в код, пропорційний глибині.

За допомогою шини даних і шини адреси мікроконтролер опитує лічильники СТ1-1 і СТ2-1, потім зберігає, обробляє і готує до передачі інформації.

Потім за допомогою схеми сполучення інформація надходить через інтерфейс RS-232.

Схема управління забезпечує ввімкнення і вимкнення приладу. Перетворювач DC-DC перетворює вхідну напругу 14В в +5В для живлення всієї системи. Фільтр призначений для згладжування імпульсних завад.

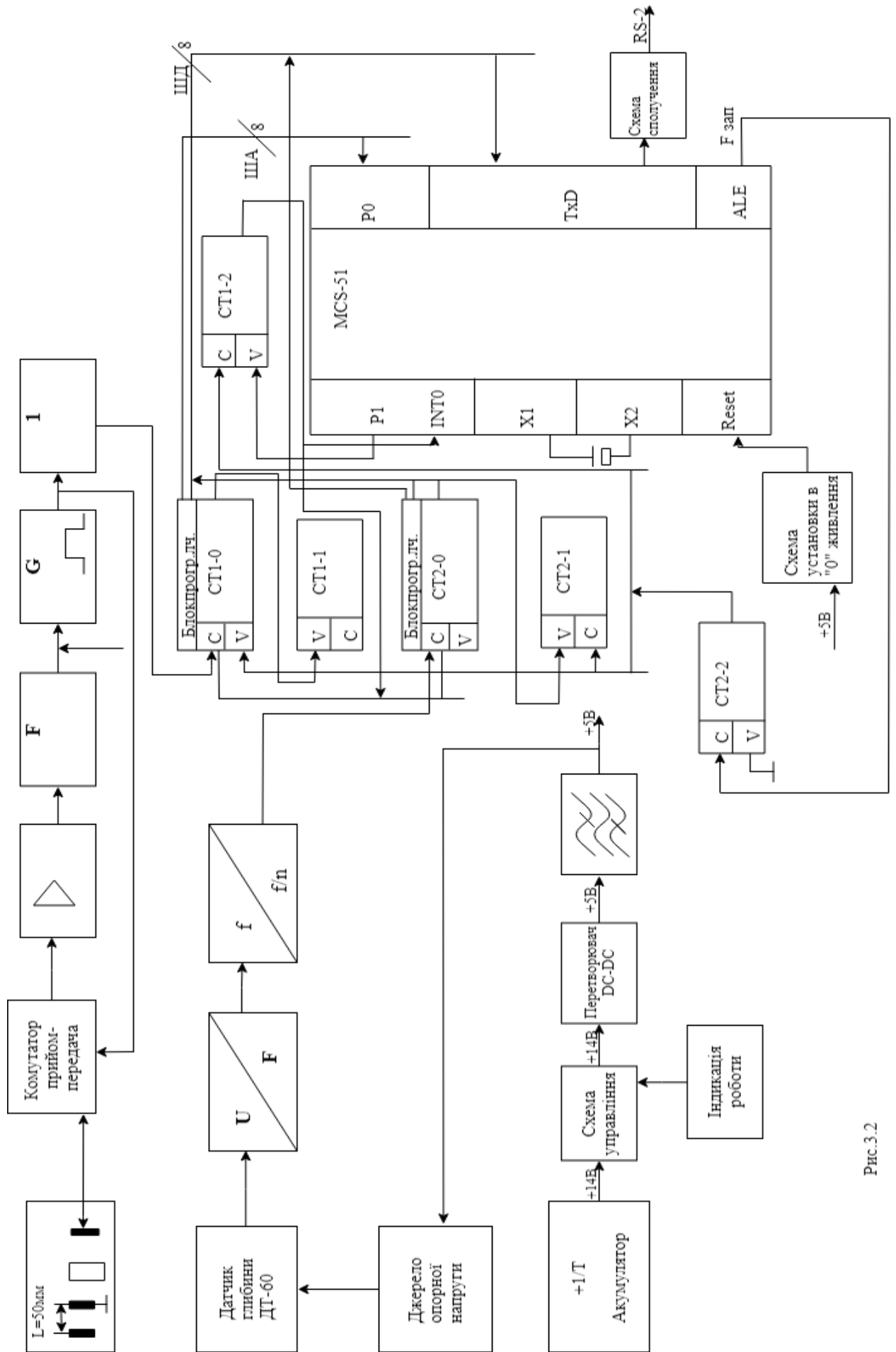


Рис.3.2

3.3 Часові діаграми

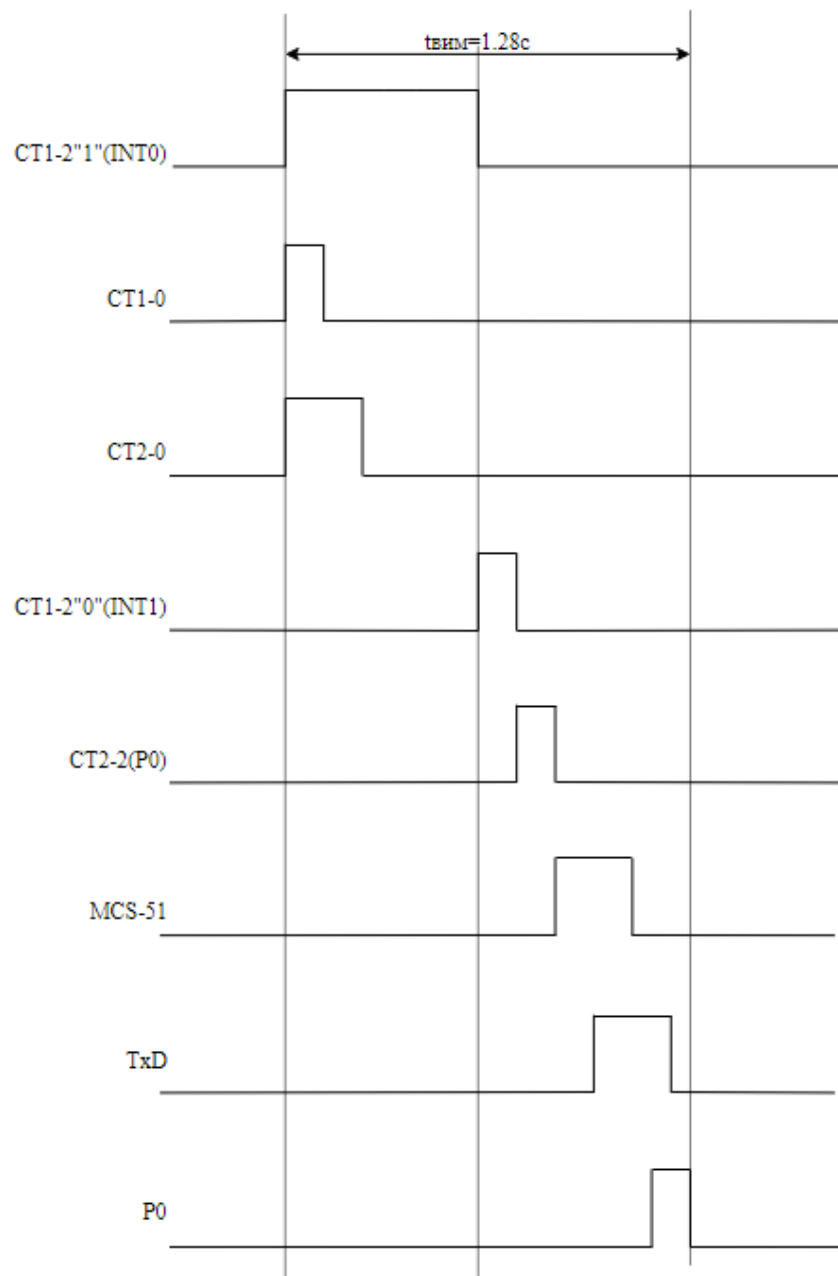


Рис.3.3

СТІ1-2"1"(INT0)-Установка часу перезапуску кожні 1,28 секунди.

СТ1-0 - підрахунок числа імпульсів і формування інтервалу часу пропорційного швидкості звуку.

СТ2-0 - підрахунок числа імпульсів і формування інтервалу часу пропорційного глибині.

СТ1-2"0"(INT1) -мікроконтролер зчитує дані лічильника СТ1-2 про поточну швидкість і зберігає в буфері, для подальшої обробки.

СТ2-2(P0) - мікроконтролер зчитує дані лічильника СТ2-2 про поточну глибину і зберігає в буфері, для подальшої обробки.

MCS-51 - обробка мікроконтролером даних, що зберігаються в буфері та підготовка їх до передачі інтерфейсом RS-232.

TxD - передача інформації інтерфейсом RS-232.

P0 - ініціалізація лічильників - встановлення в «0».

РОЗДІЛ 4. МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ГЛИБИНИ

Визначення поточних значень глибини занурення випромінювача в сучасній гідрологічній апаратурі реалізується різноманітними методами, з яких найбільш поширенні наступні:

1. За часом занурення випромінювача;
2. За допомогою датчиків тиску.

4.1. Метод визначення глибини за часом занурення

Цей метод використовується при відомому законі зміни глибини від часу має ряд вагомих недоліків.

По-перше залежність глибини, за наявності кабельної лінії зв'язку з контейнером, що опускається, є складною нелінійною функцією. Порівняно прості способи апроксимації цієї залежності дають похибку визначення глибини до кількох десятків метрів.

По-друге швидкість занурення(а відповідно і глибина) залежать від впливу морських течій і густини води. Отже, експериментальні залежності, в отриманні деякому районі океану в певний час, можуть спричинити появу додаткових похибок в іншому районі або в тому ж самому, але внаслідок

сезонних змін гідрологічної обстановки. Загалом похибка визначення глибини за допомогою цього метода сягає $\pm 12-15\text{ м}$ [4].

4.2 Визначення глибини за допомогою датчиків тиску

Організація каналу визначення глибини на основі датчика тиску має, в першу чергу, ту перевагу, що дозволяє отримати сигнал, пропорційний глибині, в частотній формі при мінімальних апаратурних затратах і забезпечує працездатність каналу і достатню точність майже незалежно від району його застосування.

В сучасних гідрологічних засобах найбільше поширення здобули потенціометричні датчики тиску.

В цих датчиках деформація чутливого елемента, що виникає під впливом тиску, передається на рухомий контакт приймаючого резистора, змінюючи його вихідний опір. Інші типи датчиків, які використовуються в гідрологічній апаратурі, мають обмеження за величинами механічних впливів, недостатньо стабільні в часі і в робочому діапазоні температур, тобто не задовольняють експлуатаційним вимогам.

Існує також можливість використання тензоперетворювачів, які мають значно менші масу і розміри. Але варто відзначити, що для тензоперетворювача властиві такі недоліки, як температурна нестабільність, флуктуації вихідного сигналу, низька механічна міцність.

Враховуючи високу надійність роботи потенціометричних датчиків та широкий діапазон тиску, який вимірюється (до 4 МПа), було вирішено використовувати саме ці датчики в даному приладі.

Резистивно-залежне електричне коло, яке включає в себе потенціометричний датчик тиску, забезпечує зміну вихідної частоти пропорційно значенню гідростатичного тиску, а також юстування каналу вимірювання глибини, що дозволяє скоректувати індивідуальні параметри окремого датчика.

Розділ 5. БЛОК АКУСТИЧНОЇ БАЗИ ПРИБАДУ

Акустична база в складі приладу визначає частоту слідування імпульсів в електроакустичному кільці (ЕАК) вимірювача швидкості і забезпечує лінійну залежність цієї частоти від швидкості звуку в воді.

5.1 Склад і принцип роботи блоку

Блок складається з оборотного гідроакустичного перетворювача (ГАП) рефлектора, які закріплені на спільній основі і являють собою компенсовану акустичну базу. В цьому випадку гідроакустичний імпульс, який випромінюється ГАП поширюється в водному середовищі, відбивається рефлектором і, повернувшись в ГАП, перетворюється в електричний сигнал. Таким чином сигнал проходить в прямому (ГАП - рефлектор) і зворотному (рефлектор - ГАП) напрямках однакову фіксовану відстань.

Час T між моментами випромінювання і приходу на ГАП відбитого сигналу, в загальному випадку, залежить від швидкості звуку C в стоячій воді і швидкості потоку V_T , що обтікає базу.

Фактично, швидкість C_T поширення ультразвуку при наявності течії являє собою геометричну суму швидкостей C та V_T . Зважаючи на те, що $C \gg V_T$ швидкість можна представити у вигляді:

$$C_T = C + \Delta C_T \cong C + V_T \cdot \cos \varphi \quad (5.1)$$

де φ - кут між напрямом поширення звуку і напрямом поширення течії [8].

У випадку компенсованої бази час $T = T_K$, буде складатись з двох компонент, одна з яких рівна часу T_{Π} руху імпульсу в прямому напрямі, а інша T_3 , - в зворотному:

$$T_K = T_{II} + T_3 = \frac{l}{C + V_T \cdot \cos \varphi} + \frac{l}{C - V_T \cdot \cos \varphi} = \frac{2l}{C} \left(1 + \frac{V_T^2}{C^2} \cos^2 \varphi - \dots \right) \quad (5.2)$$

У випадку некомпенсованої акустичної бази (яка складається лише із випромінювача і приймача, тобто без рефлектора) час $T = T_H$, визначається виразом:

$$T_H = \frac{2l}{C_T} = \frac{2l}{C + V_T \cdot \cos \varphi} \cong \frac{2l}{C} \left(1 - \frac{V_T}{C} \cos \varphi + \frac{V_T^2}{C^2} \cos^2 \varphi + \dots \right), \quad (5.3)$$

де $2l$ - відстань між випромінювачем і приймачем.

В окремому випадку, при $V_T = 0$ вирази (5.2) і (5.3) отримуємо:

$$T_K = T_H = T = \frac{2l}{C}. \quad (5.4)$$

Як видно з приведених співвідношень (5.2 - 5.4), залежність T від V_T у випадку компенсованої бази значно менша, ніж для некомпенсованої.

5.2 Гідроакустичні перетворювачі

Гідроакустичні перетворювачі, що використовуються в складі вимірювача швидкості звуку, відрізняються специфічними вимогами до них. Як правило, вони мають високу частоту основного резонансу і широку смугу пропускання. Ширина смуги пропускання є найважливішим параметром перетворювачів такого типу. Розширення смуги пропускання високочастотних перетворювачів забезпечує можливість випромінювання в водне середовище ультразвукових акустичних імпульсів будь-якої необхідної форми і прийому відбитих сигналів без спотворення їх частотного спектру, що підвищує якість і надійність вимірювань.

Найбільш поширеними способами розширення смуги високочастотних перетворювачів наступні: механічне демпфірування, оптимальне акустичне узгодження перетворювачів із середовищем, електричне демпфірування,

застосування коректуючи R , L , C або поєднання акустичних і електричних методів.

З перерахованих методів найбільш ефективним є метод розширення смуги пропускання високочастотних перетворювачів за рахунок оптимального узгодження перетворювача із середовищем за допомогою перехідних шарів. Цей спосіб зручний для півхвильових плоских перетворювачів, забезпечує вагоме розширення полоси без зниження ефективності перетворювача.

Широку смугу можна забезпечити, наприклад, двома чверть хвильовими шарами з матеріалів з акустичним опором (ρc), меншим ніж у п'єзокераміки, з якої виготовлено п'єзоелемент у вигляді тонкого диску. Акустичні опори п'єзоелемента і узгоджуючих шарів співвідносяться приблизно наступним чином 10:4:1. Для виготовлення узгоджуючих шарів використовують наприклад кварц і акриловий пластик [7].

Варто відзначити, що при конструюванні перетворювачів з узгоджуючими шарами виникають складності з підбором матеріалів шарів з заданими акустичними опорами ρc . Окрім того для виготовлення перетворювачів такого типу повинна бути розроблена спеціальна технологія, яка б забезпечувала високу якість склеювання і монолітність багатошарового перетворювача. Необхідність забезпечення високої точності виготовлення узгоджуючих шарів і складна технологія виготовлення обумовлює високу вартість подібних перетворювачів.

Задача забезпечення ефективної роботи високочастотних перетворювачів в широкій смузі частот може бути також розв'язана шляхом використання резонансних п'єзоелементів, які мають змінну товщину. Під дією зовнішньої напруги збуджуються ті ділянки п'єзоелементів, механічний резонанс яких (який визначається товщиною п'єзоелемента на цій ділянці) співпадає з частотою впливу на п'єзоелемент сигналу. П'єзоелементи виготовляють наступних видів:

1. клина;
2. диску з однією плоскою і іншою сферичною ввігнутою поверхнями;
3. циліндра, частина зовнішньої поверхні якого зашліфована до отримання плоскої площадки (циліндр із зрізом);
4. конуса.

Верхня межа діапазону частот, яку можуть забезпечити перетворювачі змінної товщини не вище 1,5 - 20 МГц. Вона обмежується граничною технологічно досяжною мінімальною товщиною п'єзоелементів (не менше 50 - 80 мкм) [10].

На сьогодні для роботи в складі приладів, призначених для вимірювання швидкості звуку в воді, застосовують перетворювачі на основі п'єзокерамічних елементів змінної товщини у вигляді циліндра зі зрізом диску, в якому одна поверхня плоска, а інша сферично ввігнута.

Виготовлення п'єзокерамічних елементів, призначених для використання в складі широкосмугових високочастотних гідроакустичних перетворювачів пов'язано з певними складностями. Чим вища робоча частота перетворювача, тим менша повинна бути товщина робочої ділянки п'єзоелемента. Технологічний процес виготовлення і поляризації таких п'єзокерамічних елементів, що мають форму, ні більші геометричні розміри і дуже малу товщину, досить трудомісткий і забезпечує при серійному виробництві дуже низький процент виходу придатних елементів.

5.3 Вибір відстані між ГАП і рефлектором

При розробці акустичної бази для приладів для визначення швидкості звуку вагоме значення має вибір відстані між ГАП і рефлектором.

Як правило, рефлектор розташовується в безпосередній близькості до ГАП. Поле ГАП на малих відстанях характеризується наявністю в ньому максимумів та мінімумів амплітуди тиску, що передуються, які викликані інтерференцією випромінювання від різних ділянок поверхні випромінювання ГАП (на відміну від дальнього поля, де амплітуда тиску зменшується зі збільшенням відстані від перетворювача). При невдалому розташуванні рефлектора відбитий сигнал може виявитись недостатній по величині для нормальної роботи електроакустичного кола.

Відстань R_C по осі перетворювача, на якій спостерігається останній максимум тиску (початок дальнього поля) знаходиться у відповідності до виразу:

$$R_C = \frac{S}{\lambda}, \quad (5.5)$$

де S - ефективна площа випромінювача;

λ - довжина хвилі випромінюваного сигналу.

Відстань l між ГАП і рефлектором ватро вибирати з умови $l \geq R_C$. В цьому разі, рефлектор не буде знаходитись в ближньому полі і інтерференційні явища не будуть впливати на роботу вимірювача швидкості звуку.

Окрім того, від розміру бази залежить термостабільність електроакустичного кільця і точність вимірювання швидкості звуку. Для стоячої води існує наступне співвідношення:

$$f_C = \frac{1}{T} = \frac{C}{2l}, \quad (5.6)$$

де f_C - частота слідування імпульсів в електроакустичному кільці.

Диференціюючи попередній вираз по l , отримуємо:

$$\Delta f_C = \frac{df_C}{dl} \Delta l = \frac{C}{2l^2} \Delta l, \quad (5.7)$$

де Δl - відхилення довжини бази від номінального значення; Δf_C - зміни частоти f_C , викликані змінами довжини бази.

Температурні зміни довжини бази описуються виразом:

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta \theta, \quad (5.8)$$

де α - коефіцієнт теплового розширення матеріалу бази; $\Delta \theta$ - зміни температури.

Підставимо (5.8) в (5.7):

$$\Delta f_C = \alpha \cdot \Delta \theta \cdot \frac{C}{2l}, \quad (5.9)$$

Звідки видно, що абсолютна похибка вимірювання швидкості звуку, пов'язана з тепловою нестабільністю акустичної бази суттєво залежить від розміру акустичної бази.

Також фактична частота f_C слідування імпульсів в реальному електроакустичному кільці визначається не залежністю (5.6), а наступним виразом:

$$f_C = \frac{C}{2l + c\tau} \approx \frac{C}{2l} \left(1 - \frac{C\tau}{2l} \right), \quad (5.10)$$

де τ - додаткова часова затримка в акустичному і електронному каналах електроакустичного кільця. Наявність додаткової затримки приводить до зниження частоти слідування імпульсів і її нелінійної залежності від швидкості звуку. Відповідно абсолютне відхилення частоти від ідеальної має вигляд:

$$\Delta f_C = \frac{C}{2l} - \frac{C}{2l} \left(1 - \frac{C\tau}{2l} \right) = \frac{C^2 \tau}{4l^2}, \quad (5.11)$$

Тобто ми бачимо, що точність роботи приладу суттєво залежить від вибору розмірів акустичної бази.

5.4 Вибір діаметра рефлектора акустичної бази

У випадку, коли рефлектор віддалений від ГАП на відстань l , у багато разів більше довжини хвилі, то на його поверхні виникають так звані «фазові зони» або «зони Френеля», які мають вигляд концентричних кіл «освітленості». Фази відбитих сигналів від кожного кільця мають однаковий знак. Амплітуда сигналу, відбитого рефлектором, виявляється залежною від числа зон Френеля, які утворюються на рефлекторі [6].

Максимальну величину має сигнал, відбитий від диску на якому виникає лише перша зона Френеля. Радіус диску за цієї умови визначається наступним чином:

$$r \approx \sqrt{\frac{\lambda \cdot l}{2}}. \quad (5.12)$$

РОЗДІЛ 6. МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОТИ ПРИЛАДУ

6.1 Вплив на точність роботи додаткової часової затримки

Додаткова затримка τ_3 , електричного сигналу виникає в електронних блоках вимірювача. Величина τ_3 , складає орієнтовно 0,4 мкс. Для кожного окремого екземпляру приладу вона має певне значення і до того ж залежить від температури.

Кінцевий час наростання переднього фронту запускаючого імпульсу до порогу спрацювання електронних приладів приводить до появи затримки τ_Φ , яка складає в середньому 0,04 мкс. Величина τ_Φ залежить від параметрів морської води, зокрема, від степені поглинання акустичних коливань, однак вплив τ_Φ на загальну похибку не значний. Зміна величини поглинання

більше ніж на 10% спричиняє відносну зміну частоти вихідного сигналу вимірювача порядку 0,003%.

Прийомно-випромінюючий перетворювач вносить затримку $\tau_{ПР}$, яка залежить від конструкції перетворювача і може бути знижена за рахунок зменшення товщини активного шару. При роботі вимірювача електричний імпульс запуску викликає ударне механічне збудження акустичного перетворювача, сигнал на виході якого являє собою відрізок затухаючої синусоїди, період якої рівний $T_P = \frac{1}{F_P}$, де F_P -резонансна частота акустичного перетворювача. Амплітуда першого півперіоду цих коливань незначна(5-10% від максимального значення) і нестійка. Практично, запуск або синхронізація імпульсного генератора приводиться наступними півперіодами синусоїди. Через пропуск першого півперіоду виникає вказана часова затримка $\tau_{ПР}$, яка дорівнює половині періоду коливань акустичного перетворювача. Зі збільшенням F_P , величина $\tau_{ПР}$ зменшується. Для діапазону резонансних частот 1-3 МГц, який найчастіше використовується для вимірювачів швидкості звуку, величина $\tau_{ПР}$ знаходиться в межах 0,15-0,5 мкс.

В загальному випадку додаткова часова затримка характеризується сумарною затримкою τ_{Σ} , яка містить в собі всі види затримок:

$$\tau_{\Sigma} = \tau + \tau_{\Phi} + \tau_{ПР}. \quad (6.1)$$

При використанні акустичного перетворювача з резонансною частотою 1,5 МГц величина приблизно складає:

$$\tau_{\Sigma} = 0,4 \text{ мкс} + 0,04 \text{ мкс} + 0,33 \text{ мкс} = 0,77 \text{ мкс}$$

Сумарна затримка τ_{Σ} суттєво залежить від швидкості роботи вузлів та елементів, які входять в склад приладу.

Період слідування імпульсів в реальному електроакустичному кільці складає $T(C) = T(C) + \tau_{\Sigma}$, а частота слідування імпульсів:

$$f'(C) = \frac{1}{2T'(C)} = \frac{C}{2(2l + \tau_{\Sigma} \cdot C)}, \quad (6.2)$$

Таким чином, наявність додаткової часової затримки в електроакустичному кільці приводить до зниження частоти слідування імпульсів і нелінійності її залежності від швидкості звуку.

Для зменшення впливу додаткової часової затримки τ_{Σ} можна провести її компенсацію в внутрішній точці C_k діапазону вимірюваних швидкостей звуку шляхом зменшення відстані l до значення l' так, щоб значення швидкості звуку C_k частота слідування імпульсів в реальному електроакустичному кільці буларівна розрахунковому значенню за формулою $f_C(C) = \frac{C}{2l}$, тобто:

$$f'(C_k) = f(C_k), \quad (6.3)$$

або

$$\frac{C_k}{2l' + C_k \tau_{\Sigma}} = \frac{C_k}{2l}, \quad (6.4)$$

звідки:

$$l' = l - \frac{1}{2} C_k \cdot \tau_{\Sigma}. \quad (6.5)$$

При такій відстані між поверхнями випромінювача і рефлектора частота слідування імпульсів буде визначатись наступним виразом:

$$f' = \frac{C}{2[2l + (C - C_k) \tau_{\Sigma}]}, \quad (6.6)$$

а швидкість звуку може бути розрахована із співвідношення:

$$C = \frac{2 \cdot f'_C \cdot (2l - C_k \tau_{\Sigma})}{1 - f'_C \tau_{\Sigma}}, \quad (6.7)$$

при відомому значенні τ_{Σ} .

Значення C_k може бути знайдено із умови максимальних абсолютних відхилень Δf частоти f'_C , від номінальної f_C на кінцях діапазону значень швидкості звуку ($C = C_{\min} = 1400 \text{ м/с}$ та $C = C_{\max} = 1550 \text{ м/с}$):

$$\Delta f(C_{\max}) = \Delta f(C_{\min}), \quad (6.8)$$

або

$$f_C(C_{\max}) - f'_C(C_{\max}) = f'_C(C_{\min}) - f_C(C_{\min}). \quad (6.9)$$

З (6.9) отримуємо:

$$C_k = \frac{\tau_{\Sigma}(C_1 + C_2)^2 + 2l(C_1 + C_2) - \sqrt{(\tau_{\Sigma}(C_1 + C_2)^2 + 2l(C_1 + C_2))^2 - 4\tau_{\Sigma}(C_1 + C_2)[C_1^2(2l + \tau_{\Sigma}C_2) + C_2^2(2l + \tau_{\Sigma}C_2)]}}{2\tau_{\Sigma}(C_1 + C_2)} \quad (6.10)$$

де $C_1 = C_{\min}$, $C_2 = C_{\max}$.

З формули (6.10) випливає, що похибка, викликана τ_{Σ} буде мінімальною в заданому діапазоні швидкостей звуку, якщо калібрування приладу виконується при значенні швидкості звуку, рівному C_k .

6.2 Вплив температурної нестабільності акустичної бази на точність вимірювань

Розглянемо похибку, яка виникає за рахунок зміни довжини акустичної бази в залежності від температури морської води. З виразу (5.6) випливає, що зміна l при постійній швидкості звуку приведе до небажаної зміни Δf_C вихідної частоти f_C :

$$\Delta f_C = -\frac{C}{2l_{\theta}^2} \Delta l = -\frac{C}{2l_{\theta}} \alpha \Delta \theta = -f_C \alpha \Delta \theta, \quad (6.11)$$

де l_θ - довжина акустичної бази при температурі θ ;

α - коефіцієнт лінійного теплового розширення матеріалу акустичної бази;

$\Delta\theta$ - відхилення температури від значення θ .

Додаткова затримка імпульсів в акустичному каналі внаслідок зміни Δl довжини бази рівна:

$$\tau_\theta = \frac{2\Delta l}{C} = \frac{2\alpha l_\theta \Delta\theta}{C}. \quad (6.12)$$

З формули (6.11) видно, що відносна похибка $\frac{\Delta C}{C}$, викликана температурною нестабільністю бази виражається наступною залежністю:

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta f}{f} = \alpha \Delta\theta \quad (6.13)$$

Зрозуміло, що відносна похибка буде залежати лише від $\Delta\theta$ і від матеріалу, з якого виготовлена акустична база. Тому необхідно обирати матеріали з мінімальним коефіцієнтом теплового розширення.

6.3 Оцінка похибки вимірювань, викликана потоком, що набігає

При зануренні контейнер може відхилятися від вертикального положення. Найбільш суттєвого впливу на точність вимірювань завдає складова вектору \vec{V} швидкості потоку, що набігає. Ця складова співпадає з напрямом випромінювання акустичних сигналів і змінює час проходження акустичних хвиль.

Частота слідування імпульсів в компенсованому електроакустичному кільці, що знаходиться потоці, визначається виразом:

$$f'_C = \frac{C}{2l} \left(1 - \frac{V^2}{C^2} \cos^2 \varphi \right), \quad (6.14)$$

де C - швидкість звуку;

l - довжина акустичної бази;

V - швидкість потоку;

φ - кут між напрямом поширення звукових коливань і напрямом потоку.

При визначенні швидкості звуку за формулою (5.6), без врахування впливу потоку, отримуємо похибку:

$$\Delta l = 2lf - 2lf' = \frac{V^2}{C} \cos^2 \varphi. \quad (6.15)$$

В найнесприятливішому випадку, коли напрям потоку співпадає з напрямом поширення звукових імпульсів в електроакустичному кільці ($\varphi = 0^\circ$) при швидкостях потоку, які досягають значень $V = 5 \text{ м/с}$ абсолютна похибка визначення швидкості звуку не перевищує $0,02 \text{ м/с}$. Таким чином, впливом цієї похибки на точність роботи приладу можна знехтувати.

6.4 Похибка визначення глибини

Похибка визначення глибини виникає через не лінійність датчика тиску. Функція перетворення тиску в опір $R(P)$ ідеального датчика може бути подана у вигляді:

$$R(P) = R_H + \frac{R_B - R_H}{40} \cdot P, \quad (6.16)$$

де R_H, R_B - вихідний відносний опір датчика при значеннях тиску $P=0$ та $P=40 \text{ кг/см}^2$ відповідно;
 P - тиск в атмосферах.

Аналогічне співвідношення можна записати, замінивши тиск на значення глибини, яке йому відповідає:

$$R(H) = R_H + \frac{R_B - R_H}{400} \cdot H, \quad (6.16)$$

де H глибина в метрах.

Реальна характеристик $R'(H)$ чи $R'(P)$ може відрізнятись від ідеальної на деяку величину, яка залежить від значення H (або P).

Існує наступне співвідношення:

$$\frac{R'_i - R_i}{\Delta H_i} = \frac{\Delta R_i}{\Delta H_i} = \frac{R_B - R_H}{400}, \quad (6.17)$$

де R'_i , R_i - реальне і ідеальне значення вихідного опору датчика на глибині $H = H_i$;

$\Delta R_i = R'_i - R_i$ відхилення вихідного опору від лінійного закону (6.16);

ΔH_i - похибка визначення глибини, зумовлена відхиленням ΔR .

Далі із (6.17) отримуємо:

$$\Delta H_i = \frac{\Delta R_i}{R_B - R_H} \cdot 400, \quad (6.18)$$

Величина $R_B - R_H$ повинна складати не менше 80% від загального опору $R_{заг}$ датчика, який приймається за 100%. Також для нелінійності ΔR датчика повинна забезпечуватись наступна умова:

$$\Delta R = \frac{\Delta R_1 + \Delta R_2}{2} \leq 1.5\%, \quad (6.20)$$

де ΔR_1 , ΔR_2 - абсолютні величини максимальних від'ємного і додатного відхилень. Тоді з (6.18) отримуємо:

$$\Delta H_i \leq \frac{1.5\%}{80\%} \cdot 400 = 7.5(м), \quad (6.21)$$

це складає верхню межу похибки зміни глибини, яка вноситься датчиком тиску внаслідок не лінійності функції перетворення.

Для довільного значення не лінійності ΔR можна записати:

$$\Delta H \leq 5 \cdot \Delta R, \quad (6.22)$$

де ΔR - у відсотках.

ΔR з довірчою імовірністю 0,95 знаходиться в довірчому інтервалі. Виходячи з цього, варто очікувати, що похибка визначення глибини в нормальних умовах буде складати $\pm 6м$.

ВИСНОВКИ

1) Необхідно знати закон розподілу швидкості звуку з глибиною для прогнозування дальності дії гідроакустичних станцій та розробки нової техніки.

2) Для визначення ВРШЗ найдоцільніше використовувати прилади, що використовують імпульсно-циклічний метод. Такі прилади порівняно прості у реалізації і мають достатню точність.

3) Прилад, що розглядається в роботі забезпечує вимірювання швидкостей звуку в діапазоні 1400-1550 м/с на глибинах до 300 метрів.

4) Дві найважливіші частини приладу це потенціометричний датчик глибини та акустична база у складі ГАП і рефлектора. Параметри цих двох блоків визначають характеристики роботи практично всього приладу.

5) Похибки визначення швидкості звуку та глибини, спричинені різними факторами, знаходяться в допустимих для задовільної роботи межах.

Таким чином, можна зробити висновок, що прилад, який було описано є достатньо ефективним, точним, надійним та має великий термін безвідмовної роботи серед приладів свого класу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Серавин Г.Н. Измерение скорости звука в океане. - Л., Гидрометеиздат, 1979, 134с.
2. Евтютов А.П., Колесников А.Е. Справочник по гидроакустике, - Л., Судостроение, 1982, 552с.
3. Клей К., Медвин Г. Акустическая океанография. - М., Мир, 1980, 584с.
4. Куликовский К.Л. Методы и средства измерений, - М., Энергоатомиздат, 1986, 448с.
5. Бреховских Л.М., Лысанов Ю.П. Теоретические основы акустики океана. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 264с.
6. Исакович М.А. Общая акустика. М.: Наука. 1973. 495с.
7. Desilets C.S., Frazer D.I, Kino C.G. Расчет эффективных широкополосных пьезоэлектрических преобразователей. IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics, vol. SU-25, No3, 1978.
8. Nayman A.J., Weight J.P. Передача и прием коротких ультразвуковых импульсов преобразователями круглой и квадратной формы. IASA, vol.66, 04, 1979
9. Goll J.H. Конструкция широкополосных ультразвуковых преобразователей, нагруженных на жидкость. IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics, vol. SU- 26, No6, 1979.
10. Brown A.F., Weight J.P. Излучение и прием широкополосного ультразвукового сигнала. -Ultrasonics, No4, 1974.